G. EIFFEL

INGENIEUR & CONSTRUCTEUR A LEVALLOIS-PERRET

(SEINE)

NOTICE

SUR LE

VIADUC DE GARABIT

(PRÈS SAINT-FLOUR)

LIGNE DE MARVEJOLS A NEUSSARGUES

PAR

G. EIFFEL

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR ET DE LA COURONNE DE FER D'AUTRICHE

COMMANDEUR DES ORDRES DE LA CONCEPTION DE PORTUGAL, D'ISABELLE LA CATHOLIQUE ET DU CAMBODGE

CHEVALIER DE L'ORDRE DE FRANÇOIS-JOSEPH.

PARIS

IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE & DES CHEMINS DE FER DE PAUL DUPONT

24, RUE DU BOULOI (HOTEL DES FERMES)

1888

A Monsieur Denis

hommage de G. Eiffel

NOTICE

SUR LE

VIADUC DE GARABIT

(PRÈS SAINT-FLOUR)

LIGNE DE MARVEJOLS A NEUSSARGUES

Digitized by the Internet Archive
in 2019 with funding from
Getty Research Institute

https://archive.org/details/noticesurleviadu00eiff

G. EIFFEL

INGÉNIEUR & CONSTRUCTEUR A LEVALLOIS-PERRET

(SEINE)

NOTICE

SUR LE

VIADUC DE GARABIT

(PRÈS SAINT-FLOUR)

LIGNE DE MARVEJOLS A NEUSSARGUES

PAR

G. EIFFEL

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR ET DE LA COURONNE DE FER D'AUTRICHE

COMMANDEUR DES ORDRES DE LA CONCEPTION DE PORTUGAL, D'ISABELLE LA CATHOLIQUE

ET DU CAMBODGE

CHEVALIER DE L'ORDRE DE FRANÇOIS-JOSEPH.

PARIS

IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE & DES CHEMINS DE FER DE PAUL DUPONT

24, RUE DU BOULOI (HOTEL DES FERMES)

1888

NOTICE

SUR LE

VIADUC DE GARABIT

(PRÈS SAINT-FLOUR)

LIGNE DE MARVEJOLS A NEUSSARGUES

§ I. — HISTORIQUE

La ligne de Marvejols à Neussargues est une de nos voies ferrées dont le tracé à présenté les plus sérieuses difficultés. Elle a rencontré, notamment à Garabit, dans le département du Cantal, à seize kilomètres environ au sud de Saint-Flour, une gorge très profonde dans laquelle coule la rivière la Truyère.

Dans les premières études, la ligne descendant du plateau par un tracé à forte pente et à flanc de coteau, par la vallée de l'Arcomie, affluent de la rive gauche de la Truyère, s'abaissait suffisamment pour franchir cette vallée par un viaduc de 60 mètres de hauteur. Cette ligne remontait ensuite la vallée du ruisseau de Mongon, en se plaçant également à flanc de coteau, et regagnait le plateau de la rive droite de la Truyère.

Cette solution avait tous les inconvénients des tracés à flanc de coteau avec toutes les difficultés d'exécution des travaux d'art qui en résultent ; elle était en outre relativement coûteuse.

Or, à quelques centaines de mètres en amont du point ainsi choisi d'abord pour la traversée de la Truyère, la vallée se resserrait, bornée immédiatement à droite et à gauche

par le plateau sur lequel le tracé pouvait se développer dans les conditions les plus faciles de construction et de dépense; mais il fallait, pour réaliser ce tracé, pouvoir en cet endroit franchir la vallée à plus de 120 mètres au-dessus de la rivière.

L'adoption du projet de tracé amélioré dépendait donc exclusivement de la possibilité de réaliser le grand ouvrage d'art qui devait traverser la coupure de Garabit.

Afin d'être fixé sur cette possibilité, M. Boyer, Ingénieur ordinaire, s'adressa en décembre 1878 à M. Eiffel et lui demanda une étude de l'ouvrage en prenant comme point de départ l'application du type en arc que la maison Eiffel avait faite dix-huit mois auparavant au pont sur le Douro à Porto.

Les études et le devis fournis par M. Eiffel à M. Boyer démontrèrent que cet ouvrage exceptionnel pourrait être exécuté dans des conditions de prix et de sécurité tout à fait satisfaisantes, et M. Boyer put alors établir que le tracé par le plateau avec viaduc de 122 mètres de hauteur à Garabit, présenterait une économie de plus de trois millions par rapport au tracé par les vallées d'Arcomie et de Mongon, la ligne se trouvant en outre dans de bien meilleures conditions d'exploitation.

Il put donc proposer ce nouveau tracé à l'Administration supérieure. M. Bauby, Ingénieur en chef à Mende, appuya ces propositions qui, sur le rapport de M. l'Inspecteur général de Boisanger, furent acceptées par le Conseil général des Ponts et Chaussées.

La décision ministérielle consacrant cette approbation est datée du 14 juin 1879; elle a confié à M. Eiffel l'exécution des maçonneries et de la partie métallique du viaduc de Garabit par un marché de gré à gré: elle porte que:

« *Pour montrer la possibilité de cet ouvrage et évaluer la dépense, MM. les Ingénieurs*
« *se sont adressés à M. G. Eiffel,* **qui a fourni un avant-projet** *et a déclaré se charger*
« *de la construction.* . . . . . .

. . . . . .

« *Considérant que le type du pont du Douro étant admis, M. Eiffel, qui l'a conçu et*
« *exécuté, est évidemment plus apte que tout autre constructeur à en faire une seconde*
« *application, en profitant de l'expérience qu'il a personnellement acquise dans le premier;*
« *qu'il serait d'ailleurs peu équitable dans l'espèce de confier les travaux à d'autres que*
« *M. Eiffel, quand c'est son pont du Douro qui a donné aux Ingénieurs l'idée de franchir*
« *la vallée de la Truyère par un nouveau tracé dont l'État doit retirer finalement une éco-*
« *nomie de plusieurs millions.* . . . . . .

. . . . . .

« *Que M. Eiffel a appliqué à ces sortes de travaux ses procédés de montage, qui ont réussi,*
« *grâce à un ensemble de précautions propres à en assurer la précision, et dont il possède*

« *seul l'expérience : enfin il a inventé des moyens pour obtenir la rigidité des piles et du*
« *tablier contre l'action du vent qui exerce de violents efforts à cette hauteur dans les gorges*
« *de montagne.* »

C'est dans ces conditions que le marché de gré à gré passé avec M. Eiffel pour l'éxécution entière de l'ouvrage à été approuvé par le Ministre le 23 juillet 1880.

Les fouilles et les maçonneries ont été commencées en Janvier 1880 et l'ouvrage a été terminé en Novembre 1884.

Les épreuves ont eu lieu au commencement du mois d'Avril 1888.

On n'a pas pu procéder plus tôt à ces épreuves, attendu que l'état d'avancement de la pose de la voie n'avait pas permis jusqu'alors l'accès des locomotives et du matériel roulant nécessaires à ces épreuves.

L'exécution a eu lieu sous la direction successive de MM. Bauby et Lefranc, Ingénieurs en chef, et de MM. Boyer et Lamothe, Ingénieurs ordinaires.

§ II. — DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE

Le viaduc de Garabit est établi pour une seule voie. Le rail, en palier sur toute la longueur de l'ouvrage, est à la cote 835.50 au dessus du niveau de la mer et à $122^{m},20$ au dessus de la rivière de la Truyère.

La partie la plus profonde de la vallée est franchie par une grande arche métallique dont la corde a 165 mètres de longueur et dont la flèche est de $51^{m},858$ à l'intrados. Cette arche supporte le tablier droit horizontal sur lequel passe la voie.

Le choix du système adopté pour l'ensemble de l'ouvrage résulte de la préoccupation que l'on a eue de ne pas dépasser notablement la hauteur des piles métalliques jusqu'alors réalisée en France.

Un excès de hauteur des piles peut en effet n'être pas sans inconvénients et donner lieu, sous l'influence des vents violents, à des oscillations qui, pour un tablier d'une grande longueur, pourraient être dangereuses. On s'est limité pour le viaduc de Garabit, à une hauteur de 80 mètres environ, dont 62 mètres pour la partie métallique sous le tablier et 18 mètres pour le soubassement en maçonnerie.

Les deux plus hautes piles, celles qui avoisinent l'arc, étant ainsi remontées le long des flancs de la vallée, on a été conduit à les placer à une distance de $177^{m},72$ d'axe en axe, et à disposer dans l'intervalle le grand arc de 165 mètres de corde.

Ce grand arc offre quatre appuis au tablier droit supérieur qui porte la voie, dont deux appuis dans le voisinage de la clef et deux autres sur des palées intermédiaires spéciales, de sorte que le tablier dans cette partie de l'ouvrage est formé de trois petites travées centrales de $24^{m}.64$ et de deux travées latérales de $51^{m}.80$.

Le reste du viaduc comprend cinq travées dont trois de $55^{m},50$, et deux, celles des extrémités, de chacune $51^{m},80$. Toutes ces travées reposent sur des piles métalliques. Le complément de la longueur est formé par des viaducs en maçonnerie qui en constituent les abords.

En présence de la difficulté que présentait le problème du passage d'une voie ferrée à une hauteur au-dessus de la vallée qui dépasse de 40 mètres environ les plus grandes hauteurs connues, la disposition adoptée avait l'avantage de ne pas présenter de solutions complètement nouvelles, mais au contraire de grouper des solutions dont chacune a déjà reçu la sanction de l'expérience.

Néanmoins, l'emploi de ces éléments a reçu, dans l'étude nouvelle, des améliorations d'une grande importance, dont voici les principales.

1° *Dispositions nouvelles employées dans les piles métalliques*

Au pont du Douro, les quatre arbalétriers des piles étaient constitués par des caissons rectangulaires complètement fermés, réunis par des entretoisements en cornières d'une faible rigidité et destinés seulement à résister à des efforts de traction. A Garabit, les grandes faces des piles, c'est-à-dire celles qui sont transversales au tablier et qui résistent à l'action du vent, sont constituées comme des poutres rigides à double paroi ; les arbalétriers ne comportent plus que trois faces formant une coupe en U dans l'intérieur de laquelle viennent s'insérer les entretoisements horizontaux et diagonaux, dont la forme générale est celle d'un caisson en treillis.

L'avantage de cette disposition est de permettre une visite et un entretien faciles de toutes les parties tant intérieures qu'extérieures de la pile ; de plus la forme en caisson donnée aux barres de treillis des entretoisements ne leur permet pas de flamber sous les efforts de compression, et la rigidité de la pile est considérablement augmentée par rapport aux efforts latéraux du vent. M. Eiffel a eu à justifier devant le Conseil général des Ponts et Chaussées, d'accord avec M. l'Ingénieur en Chef Bauby, cette solution des piles métalliques de son système breveté, parallèlement à laquelle M. l'Ingénieur Boyer proposait celle des piles creuses en maçonnerie.

Ces piles métalliques sont amarrées aux maçonneries de leur soubassement par de forts tirants qui prennent leur point d'attache inférieur sur des sommiers en fer logés dans des galeries qui en permettent la visite. De cette façon on intéresse à la résistance, et comme surcroît de sécurité, la plus grande partie du poids de la maçonnerie des soubassements.

2° *Position de la voie dans le tablier supérieur*

Dans les viaducs métalliques du genre de celui dont il s'agit, la voie avait toujours été placée à la partie supérieure du tablier, de sorte qu'en cas de déraillement ou de renversement

des wagons, comme cela s'est vu au viaduc de la Sioule, le train ne rencontrant d'autre obstacle qu'un léger garde-corps, était exposé à des chutes, qui au viaduc de Garabit seraient d'autant plus terribles que la hauteur de l'ouvrage est plus considérable.

En plaçant la voie à $1^{m},66$ en contrebas de la semelle supérieure des poutres, celles-ci forment ainsi, de part et d'autre, une solide muraille capable de maintenir les véhicules dans le cas où ils sortiraient de la voie.

Cette modification a encore eu pour avantage de diminuer notablement la surface exposée au vent, puisque le train se trouve en partie protégé contre son action par les parois de la poutre.

Enfin la résistance horizontale du tablier se trouve ainsi considérablement augmentée parce que le plancher métallique qui la supporte forme une paroi horizontale rigide, qui, par sa situation au milieu de la hauteur des poutres, est dans les meilleures conditions pour raidir leur ensemble.

Cette disposition a été également brevetée par M. Eiffel.

3° Forme parabolique donnée à l'arc et rapprochement des palées intermédiaires vers la clef

Pour que l'arc travaille dans son entier à des efforts de compression, et que la courbe des pressions ne sorte jamais de l'arc, il est nécessaire que le tracé de la fibre moyenne se rapproche le plus possible de cette courbe. C'est ce qui a déterminé M. Eiffel à proposer pour fibre moyenne une parabole du 2° degré, de manière à avoir près des reins une très faible courbure, et c'est aussi ce qui a conduit à rapprocher autant que possible de la clef les palées intermédiaires par lesquelles le tablier supérieur s'appuie sur l'arc.

4° Coupure des tabliers horizontaux au droit des palées de l'arc

Cette disposition, qui interrompt au droit des palées des reins de l'arc la continuité des tabliers, a pour but de supprimer les efforts intérieurs que produiraient, dans les poutres continues, les déplacements verticaux des palées sous l'effet des charges dissymétriques agissant sur l'arc. Ces déplacements ne s'exercent plus sur la partie intermédiaire des poutres, mais seulement sur leur extrémité, où l'on sait qu'ils ont peu d'influence.

5° *Dispositions diverses*

Indépendamment des dispositions déjà indiquées, notamment dans les piles, pour faciliter la visite et la réparation de l'ossature métallique, des moyens d'accès spéciaux ont encore été prévus pour permettre l'approche de toutes les parties difficiles.

Une passerelle est installée à la partie inférieure du tablier métallique avec une voie de $0^m,40$ de largeur, sur laquelle des wagonnets de service pourront circuler d'un bout à l'autre du pont. Des échelles en fer et de forme héliçoïdale sont établies au centre et sur toute la hauteur de chaque pile.

Des cornières, destinées à fonctionner comme rails, sont fixées extérieurement aux semelles inférieures des poutres et permettent le service d'un échafaudage roulant destiné à la visite des parties inférieures des tabliers.

DIMENSIONS PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

Les dimensions principales de cet ouvrage, sont les suivantes :

Longueur totale du viaduc	$564^m,65$
Longueur totale de la partie métallique	$447^m,82$
Le viaduc en maçonnerie, côté Marvejols (avec trois arches de 15^m d'ouverture) a une longueur de.	$70^m,09$
Le viaduc en maçonnerie, côté Neussargues, avec une arche de 15^m d'ouverture, a une longueur de.	$45^m,91$

Le tablier Neussargues et le tablier Marvejols reposent sur les grandes piles-culées par l'intermédiaire d'appuis fixes, à droite et à gauche desquels la dilatation se fait librement, grâce aux jeux laissés, de $0^m,25$ sur les culées, et de $0^m,10$ sur les palées de l'arc.

Sur toutes les autres piles et sur les culées en maçonnerie, ces tabliers reposent sur des appuis mobiles.

Quant au tablier central, il est solidaire de l'arc en ses deux points d'appuis les plus rapprochés de la clef, mais il repose librement sur les palées des reins par l'intermédiaire d'appuis mobiles.

La poutre droite est à treillis simple avec croix de Saint-André ; elle a une hauteur de $5^m,16$ et la voie est placée à $1^m,66$ au dessous des semelles supérieures.

Les grandes piles voisines de l'arc sont à six étages et ont une hauteur de partie métallique de $60^m,736$. Leur largeur à la base est de 15 mètres et au sommet de 5 mètres, soit un fruit de $0^m,082$ par mètre. Dans le sens de la petite face parallèle au tablier, la largeur à la base est de 7 mètres et au sommet de $2^m,333$.

La grande arche présente, comme nous l'avons dit, une corde de 165 mètres de longueur. La flèche d'intrados est de $51^m,858$ et la hauteur à la clef de 10 mètres. Elle se compose de deux fermes principales en treillis, placées symétriquement, par rapport au plan médian de l'arche, dans des plans obliques à ce dernier ; il en résulte que leur écartement, qui est de 20 mètres aux naissances, va en diminuant à mesure qu'on se rapproche de la clef, où il n'est plus que de $6^m,28$, mesuré à l'extrados. Le fruit des plans des fermes est donc de $0^m,11$ par mètre, par rapport à la verticale. Cette disposition, déjà appliquée au pont du Douro, a pour effet de donner une grande stabilité à l'arche et de lui permettre de résister à l'effort de vents violents.

De même aussi qu'au pont du Douro, les fermes principales affectent la forme d'un croissant ; elles présentent donc une grande hauteur à la clef et se terminent en pointe à chaque naissance, où elles s'appuient sur les retombées par l'intermédiaire de puissantes rotules. Depuis les reins jusqu'aux naissances, l'arc se rapproche beaucoup d'une ligne droite et donne bien le sentiment de deux puissantes contrefiches rectilignes qui soutiennent la partie centrale de l'arc et du tablier.

VOIE

La voie est supportée par des entretoises porteuses ou pièces de pont attachées aux goussets des montants verticaux de la poutre.

Ces entretretoises sont soulagées en leur milieu par des contrefiches assemblées au pied des montants de la poutre ; un tirant réunit ceux-ci à leur base et deux barres obliques croisant les contrefiches complètent l'entretoisement vertical.

Cinq files de longerons réunissant les entretoises porteuses reçoivent le platelage métallique qui est composé de fers zorès de $0^m,240$ de largeur sur $0^m,120$ de hauteur, constituant le plancher jointif capable de supporter le poids d'une locomotive en cas de déraillement et présentant en outre l'avantage de contreventer d'une manière parfaite le tablier au niveau de la voie.

La rigidité de l'ensemble est enfin complétée par un contreventement rattaché aux plates-bandes inférieures.

GRAND ARC

Le grand arc est composé de membrures d'intrados et d'extrados, en forme de caissons analogues à ceux des montants des piles.

La membrure d'intrados est réunie à la membrure d'extrados par des montants verticaux et par des diagonales en croix de Saint-André, montants et diagonales constitués par des poutres en treillis.

Les panneaux au voisinage des rotules sont pleins et renforcés de nervures.

Les fermes de tête ainsi constituées sont reliées entre elles de l'amont à l'aval, d'une part, par des entretoisements verticaux fixés au droit des montants des arcs et d'autre part par des entretoisements en croisillons placés dans les plans d'intrados et d'extrados.

Chaque arc est rattaché aux maçonneries des piles-culées par de forts tirants en fer placés tout près des retombées.

Quoique le calcul en ait démontré l'inutilité, cet amarrage, relativement peu coûteux, procure un supplément de solidité trop important pour être abandonné.

§ III. — CALCULS DES DIFFÉRENTES PARTIES DE L'OUVRAGE.

Les projets des maçonneries, ensemble et détails, ont été complètement et exclusivement dressés par MM. les Ingénieurs de l'État.

Les calculs de résistance des fers ont été établis par M. Eiffel, et contrôlés par M. l'Ingénieur Boyer. On s'est limité à un travail de six kilogrammes par millimètre carré sous l'effet combiné des charges et du vent.

La surcharge admise a été déterminée en vue de l'emploi des plus lourdes machines de la Compagnie du Midi qui doit exploiter la ligne de Marvejols à Neussargues, sur laquelle se trouve le viaduc de Garabit.

L'effort du vent a été supposé de 150 kilos par mètre carré pendant la circulation des trains et de 270 kilos en dehors de toute circulation, celle-ci étant évidemment suspendue par un tel vent.

Dans ces calculs, on a admis que le vent agissait d'une manière uniforme sur la surface complète de la paroi qui est orientée du côté où le vent souffle, mais qu'il agit seulement sur la surface des barres du treillis de la seconde paroi. On a supposé que les surfaces offertes au vent par les panneaux étaient concentrées sur les montants verticaux qui les limitent et enfin que l'effort supporté par ces montants était partagé également entre l'intrados et l'extrados.

A ces efforts ont été ajoutés ceux que reçoivent les palées et le tablier. Pour le tablier on a admis, comme pour l'arc, que la première paroi était frappée sur sa surface entière et que la seconde ne l'était que sur le treillis.

Enfin, on a tenu compte de l'effort produit par le vent sur le train. Celui-ci étant en partie protégé par la partie supérieure de la poutre, cet effort a été évalué comme s'appliquant à $1^{m2},60$ par mètre courant. Ces bases d'évaluation sont les mêmes que celles qui ont

servi à M. Nordling dans les calculs relatifs aux grands viaducs métalliques qu'il a fait exécuter sur le réseau d'Orléans, et dont deux ont été construits par M. G. Eiffel.

La comparaison des effets produits par les charges et par le vent conduit à ce résultat, qu'on peut regarder les membrures de l'arc comme travaillant en moyenne à :

2 kilogrammes sous le poids propre.
2 — sous l'effet des surcharges seules.
2 — sous l'effet du vent.

La section des membrures est donc de moitié plus grande qu'elle ne serait si l'action du vent pouvait être négligée.

La température n'ajoute qu'une influence très faible aux efforts dus aux causes qui précèdent. Le maximum, qui a lieu à la clef de l'arc, est seulement de $0^{kg},63$ par millimètre carré pour une variation de température de 30 degrés.

§ IV. — MONTAGE DE LA PARTIE MÉTALLIQUE

Au commencement des travaux, le pays aux abords du viaduc était complètement désert; il a donc fallu commencer par construire une habitation pour le chef des travaux, pour les bureaux et pour le logement de MM. les Ingénieurs lors de leurs visites aux chantiers, des magasins pour le matériel et pour la chaux, un atelier de réparations, des cantines et des dortoirs pour les ouvriers, des écuries pour les chevaux et les bœufs, etc. Il a fallu aussi créer une école pour les enfants des ouvriers.

L'accès du chantier n'était possible que par la route nationale sur le coteau Marvejols, l'accès du coteau Neussargues étant pour ainsi dire impossible à moins de très longs détours, et encore à condition d'exécuter des chemins coûteux.

On a jugé préférable de réunir le coteau Neussargues au coteau Marvejols, et par conséquent à la route nationale, en exécutant d'abord un grand pont de service en charpente dont la plate-forme franchissait la vallée à 33 mètres de hauteur au-dessus des eaux de la Truyère.

La tête de ce pont, du côté de Marvejols, a été raccordée à la route nationale par un chemin à flanc de coteau d'une faible longueur.

C'est le long de ce chemin et sur l'emplacement situé à la tête du pont de service qu'a été créé le dépôt des fers destinés à l'arc, avec les grues roulantes pour le déchargement des charrettes qui apportaient les fers de la station de Neussargues après un trajet sur route de 35 kilomètres.

La plate-forme du pont supportait deux voies de service par lesquelles s'est effectué le transport des matériaux de la rive gauche à la rive droite et l'approche des pièces de l'arc.

Toutes les fondations ont été établies sur des schistes très résistants.

L'exécution des maçonneries et des piles métalliques n'a présenté rien de spécial. Nous signalerons cependant la nécessité où l'on s'est trouvé d'installer au fond de la vallée, au

pied du pont de service, une pompe puissante actionnée par une locomobile de dix chevaux, fournissant l'eau aux chantiers jusque dans leurs parties les plus élevées, par un refoulement de plus de 120 mètres de pression.

En même temps qu'on procédait à la mise en place des parties métalliques des piles, on montait sur le plateau aux deux extrémités de l'ouvrage, et sur les plates-formes en remblai préparées à cet effet, les deux tabliers latéraux côté Marvejols et côté Neussargues.

Ces tabliers furent ensuite lancés et amenés respectivement jusqu'aux grandes piles 4 et 5 où l'on donna à chacun d'eux un porte-à faux de $22^{m},20$ du coté de l'arc.

L'extrémité arrière de chaque tablier fut amarrée à l'aide de 28 cables en acier aux maçonneries des culées des viaducs d'accès.

Cela fait, on commença les préparatifs pour le levage de l'arche en installant deux échafaudages importants au devant des soubassements des piles-culées jusqu'à la hauteur des rotules.

La partie supérieure de ces échafaudages fut établie en courbe de manière à former un cintre épousant la forme des membrures d'intrados des panneaux de retombées. C'est sur ces cintres que l'on établit les premières pièces de retombées des arcs; puis l'extrémité de cette première partie de l'arc, celle qui s'avance vers le vide, fut rattachée à l'aide de 20 câbles en acier, au tablier droit, à l'aplomb de la grande pile et c'est alors que put commencer le montage de l'arc en porte-à-faux, d'après les méthodes qui avaient déjà été appliquées par M. Eiffel au pont du Douro.

On procédait par cheminement en rattachant les pièces nouvelles à celles qui étaient déjà assemblées et rivées.

Quand le poids de la partie montée en porte-à-faux se rapprocha du poids de la partie inférieure qui lui faisait équilibre (on était arrivé alors au montant 5) on installa un nouveau jeu de câbles d'amarrages reliant ce montant 5 de l'arc avec la poutre du tablier supérieur; on put alors reprendre le montage en porte-à-faux et le pousser encore ainsi jusqu'aux montants 8 et 9. Arrivé à cet avancement du montage, on refit une nouvelle installation de 24 câbles d'amarrages, en partant des montants 8 et 9, et on put enfin arriver ainsi à finir le montage jusqu'à la clef de l'intrados.

La progression du montage se faisait, bien entendu, simultanément des deux côtés de l'arc, les deux portions d'arc opposées s'élançant en même temps à la rencontre l'une de l'autre.

Le levage des pièces s'opérait par deux moyens distincts.

Les pièces lourdes étaient amenées par un wagonnet sur le pont de service à l'aplomb du point où elles devaient être élevées : une bigue placée sur la partie de l'arc déjà montée

et qui se déplaçait sur l'extrados, pour suivre toujours l'avancement du montage, supportait des treuils puissants à l'aide desquels s'effectuait le levage de ces pièces lourdes.

Pour les pièces légères, on avait élevé sur les deux grandes piles deux pylônes en charpente de dix mètres de hauteur dont le sommet soutenait un câble porteur en acier franchissant l'espace de 177 mètres qui sépare ces piles.

Sur ce câble roulaient deux chariots mobiles qui servaient au montage des pièces de faible poids, chacun des charriots desservant un des côtés de l'arc.

Les câbles en acier employés pour retenir l'arc étaient composés d'une âme en chanvre et de huit torons de chacun 19 fils de $0^{m},0024$ de diamètre.

Le plus grand soin a présidé à la fabrication de ces câbles qui ont été exécutés sous la surveillance constante d'un agent aux usines, qui a essayé individuellement chaque fil.

Les conditions exigées étaient une résistance à la rupture de 125 kilos par millimètre carré et chaque fil devait pouvoir se plier à l'étau seize fois sur lui-même en un même point sans se rompre.

Le diamètre des câbles était de $0^{m},043$ pour un poids de $6^{k},500$ par mètre courant. Le système employé pour l'attache des câbles est la répétition de celui qui a été imaginé par M. Eiffel à l'occasion du pont du Douro.

Les sommiers recevant les têtes d'un même jeu de câbles étaient installés en travers du tablier supérieur.

Chaque câble, partant du sommier, venait contourner la membrure de l'arc en s'appliquant sur un demi-cylindre en fonte de $0^{m},60$ de diamètre en forme de selle, et remontait ensuite au sommier.

La rupture d'un câble aurait exigé un effort de 85 tonnes; pendant le montage, la plus grande charge que chaque câble a eu à supporter n'a pas dépassé 15 tonnes.

Les têtes de câbles, reposaient sur les sommiers par l'entremise de cales que l'on pouvait dégager à l'aide de presses hydrauliques spéciales qu'un enfant suffisait à actionner.

On pouvait donc ainsi donner aux câbles la tension et la longueur voulues et ce, à n'importe quelle période du montage, de manière à être complètement maître de la position occupée dans l'espace par les abouts des parties montées, en provoquant des déplacements de l'arc par des rotations autour des rotules.

L'ensemble des câbles que l'on vient de décrire constituait en réalité un appareil totalisateur permettant de mouvoir des masses de 450,000 kilos à l'aide d'une série d'efforts successifs ne dépassant pas quinze à seize tonnes.

On savait, en effet, par des expériences préalables, qu'une augmentation de 15 millimètres dans la longueur d'un câble correspondait à une augmentation de 1000 kilos dans sa tension.

En introduisant une cale de un centimètre, par exemple, sous la tête de chacun des câbles et en allongeant successivement ainsi chacun d'eux de cette quantité, on donnait aux câbles voisins une diminution de tension qui provoquait un relèvement très faible de l'arc, de sorte que la totalisation de ces faibles relèvements successifs donnait à la fin de l'opération un relèvement général de un centimètre.

Les dispositions prises étaient telles que les deux parties d'arc qui devaient plus tard se rencontrer, se trouvaient toujours pendant le montage à une position légèrement supérieure à celle qu'elles devaient occuper définitivement, de sorte que, pour régler les abouts des arcs pendant le cours du montage et les maintenir à leur vraie position dans l'espace, on a opéré une série de manœuvres qui ont consisté à tendre successivement chaque câble pour relever l'ensemble de la quantité correspondant aux abaissements qui se produisaient pendant le montage.

Le 20 avril 1884 on a pu poser la clef d'intrados sans avoir aucune retouche à faire, grâce aux procédés et aux précautions dont nous venons de donner une indication sommaire. Toute l'opération s'est bornée à abaisser légèrement les deux parties de l'arc jusqu'à ce qu'on arrive au contact complet.

Aussitôt que le contact fut réalisé et que les joints d'intrados à la clef furent faits, on soulagea rapidement tous les câbles afin d'éviter qu'un abaissement dans la température ne produisît des augmentations d'efforts difficiles à évaluer, soit sur les câbles ou leurs amarrages, soit dans l'arc lui-même, qui, par suite de sa fermeture à la clef, venait de perdre l'indépendance qu'avaient possédée jusqu'alors ses parties.

A cet effet les tabliers s'appuyaient sur les piles-culées par l'intermédiaire de boîtes à sable à l'aide desquelles on assura en quelques minutes la détente des câbles.

La pose de la clef d'extrados se fit le 26 avril 1884 sans la moindre difficulté et sans nécessiter ni retouche, ni alésage des trous; ce résultat témoigna que l'arc monté avait rigoureusement la forme prévue, que les rotules étaient bien à leur position exacte et que la précision de la pose ne laissait rien à désirer.

§ V. — RÉSULTATS DES ÉPREUVES

Les essais du viaduc de Garabit viennent d'avoir lieu sous la direction de M. Lamothe, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Commencés le 9 avril 1888, ils ont été terminés le 13.

Ils ont été tout à fait satisfaisants et leurs résultats démontrent l'extraordinaire rigidité de l'ouvrage, surtout en ce qui concerne l'arc.

Voici ces résultats :

Les charges d'épreuve étaient constituées par des trains formés par une locomotive de 75 tonnes remorquant des wagons de 15 tonnes.

Les flèches observées dans les travées courantes chargées isolément ont été de . . . . . 16 à 19 m/m.

La charge de deux travées successives a donné, dans ces mêmes travées, des flèches de . . . . . 8 à 10 m/m.

L'arc, chargé sur toute sa longueur par un train de 405 tonnes, a donné à la clef une flèche de seulement . . . . . 8 m/m.

Le même train occupant successivement chacune des demi-longueurs de l'arc a donné :

Abaissement de la palée intermédiaire placée sur les reins. . . . . 10 m/m
Déplacement horizontal de l'arc au droit de la palée. . . . . 8 m/m
Flèche à la clef. . . . . 4 m/m

Dans les épreuves par poids roulant : la flèche maxima dans les travées courantes a été de. . . . . 15 à 18 m/m
et celle de l'arc à la clef de. . . . . 12 m/m

Enfin les déplacements horizontaux des tabliers pendant le passage du train ont été de. . . . . 6 à 8 $^{m}/^{m}$

Après chaque essai toutes les parties de la construction sont revenues rigoureusement à leur position primitive.

§ VI. — RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Le poids du métal entrant dans cet ouvrage est de . . . . . 3,326,414 kil.
dont : pour l'arc et ses palées . . . . . 1,185,701 kil.
et pour les tabliers et les piles . . . . . 2,140,713 kil.
Le cube des maçonneries est de . . . . . 18,647 m³.

Les travaux sur place ont été commencés en Janvier 1880.

Les maçonneries ont été terminées en Octobre 1882.

Le montage de la première pile métallique a été commencé en Août 1882 et le montage de l'arc le 24 Juin 1883.

La clef d'extrados a été posée le 26 avril 1884.

Enfin en novembre 1884, le viaduc était complètement terminé.

Les collaborateurs de M. Eiffel ont été :

M. Émile Nouguier pour l'étude générale du projet et des procédés de montage :
M. Maurice Koechlin pour l'établissement des calculs et du projet ;
M. Compagnon pour le montage et les travaux sur place.

En outre M. J. B. Gobert, Ingénieur, a assisté M. Eiffel dans la direction générale des travaux.

PLANCHES

Planche I. — Élévation et plan d'ensemble du Viaduc et de ses abords.

Planche II. — Détails de la grande travée.

Planche III. — Détails du montage de l'arc ; amarrages de l'arc et des tabliers.

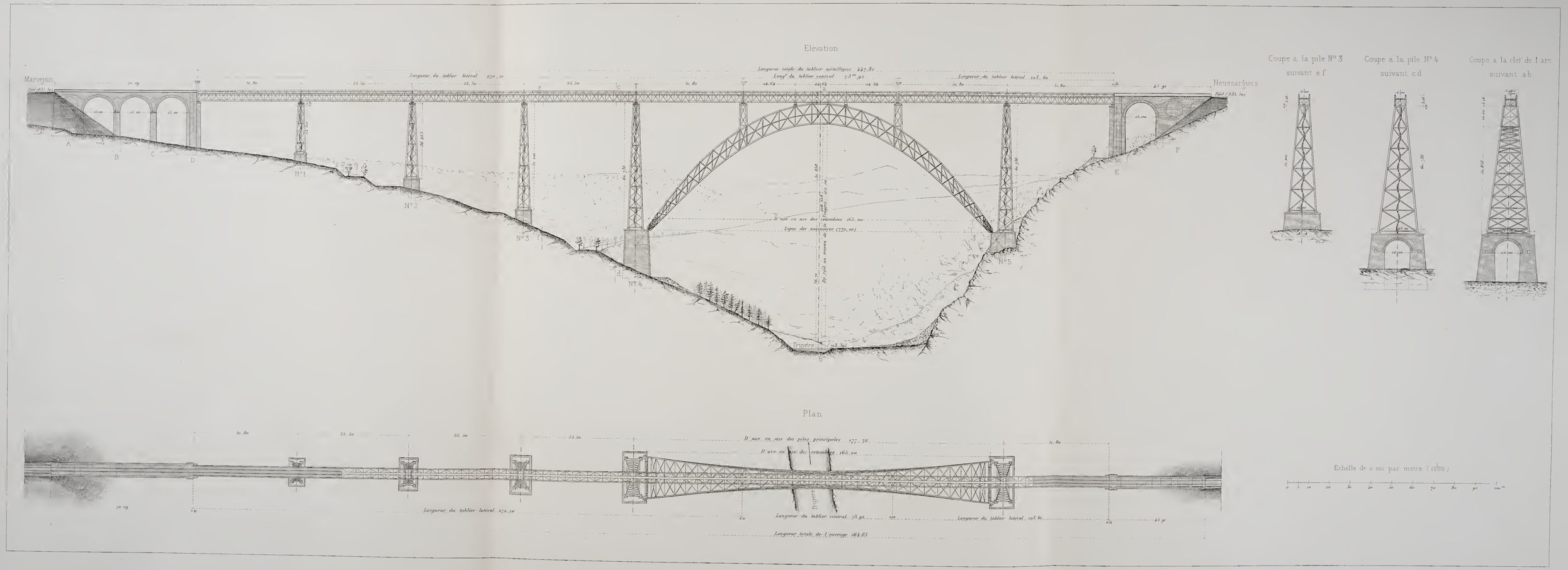
Planche IV. — Vue d'ensemble du montage.

Planche V. — Vue de l'arc en montage, au panneau 11.

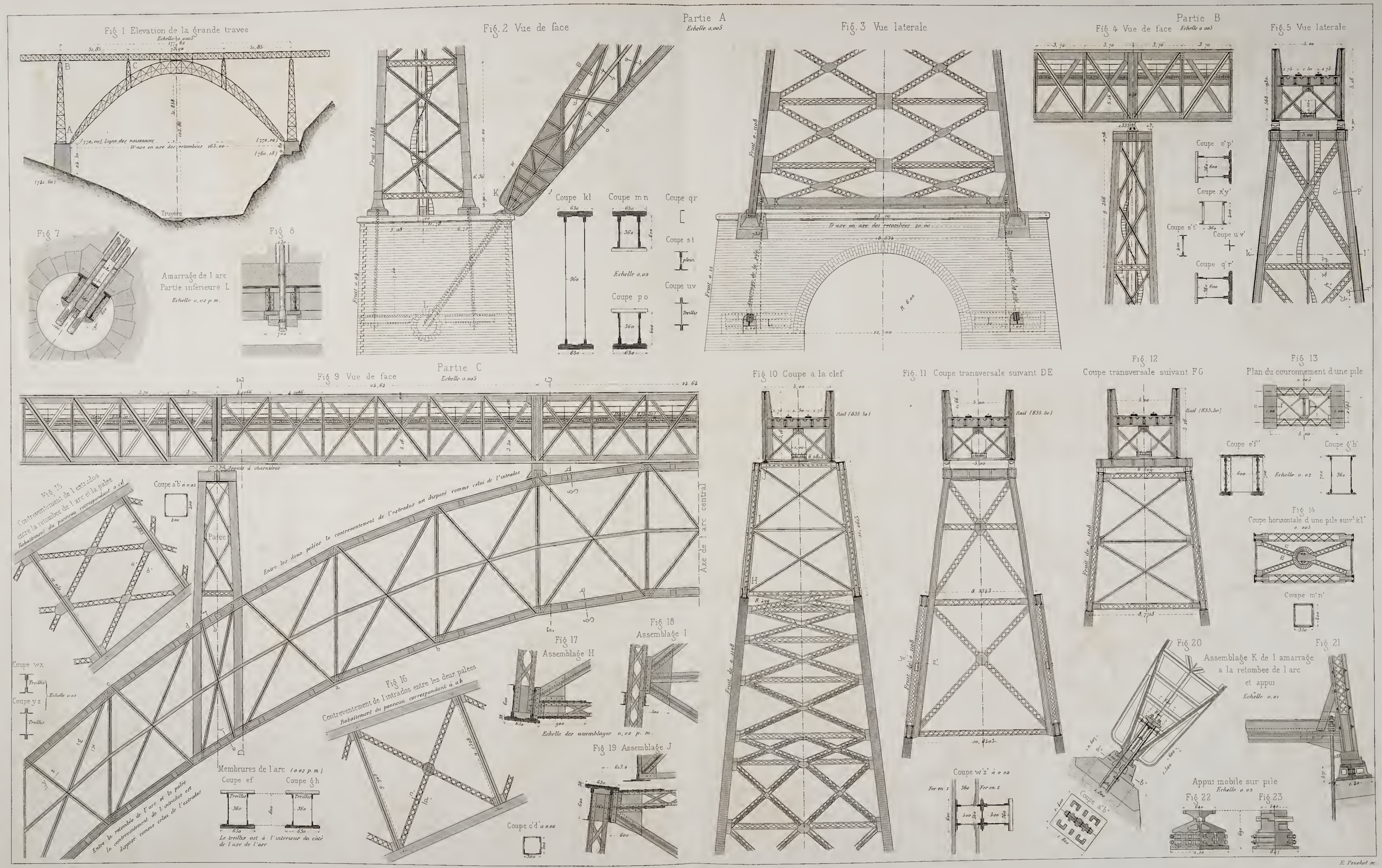
Paris, Imprimerie PAUL DUPONT, 24, rue du Bouloi. — 882.5.88. — My.

VIADUC DE GARABIT_LIGNE DE MARVEJOLS A NEUSSARGUES (CANTAL)

PL. I.



E. Peuchot sc.


Partie A
Echelle 0,005
Fig 1 Elevation de la grande travee
Fig. 2 Vue de face
Fig. 3 Vue laterale
Partie B
Fig 4 Vue de face
Fig. 5 Vue laterale
Coupe kl
Coupe mn
Coupe qr
Coupe st
Coupe uv
Coupe po
Fig 7
Fig 8
Amarrage de l arc
Partie inferieure L
Echelle 0,02 p. m.
Partie C
Fig 9 Vue de face
Appuis à charnières
Axe de l arc central
Fig 10 Coupe a la clef
Fig. 11 Coupe transversale suivant DE
Fig. 12
Coupe transversale suivant FG
Fig 13
Plan du couronnement d une pile
Coupe e'f'
Coupe g'h'
Fig 14
Coupe horizontale d une pile suiv^t kl'
Coupe m'n'
Fig 15
Contreventement de l extrados entre la retombee de l arc et la palee
Rabattement du panneau correspondant a cd
Coupe a'b'
Palee
Entre les deux palees le contreventement de l'extrados est disposé comme celui de l'intrados
Coupe wx
Coupe yz
Fig 16
Contreventement de l intrados entre les deux palees
Rabattement du panneau correspondant à ab
Entre la retombée de l'arc et la palée le contreventement de l'intrados est disposé comme celui de l'extrados
Membrures de l arc (0,02 p. m.)
Coupe ef
Coupe gh
Le treillis est à l'interieur du coté de l arc de l arc
Fig 17
Assemblage H
Fig 18
Assemblage I
Echelle des assemblages 0,02 p. m.
Fig 19 Assemblage J
Coupe c'd'
Coupe w'z'
Fig 20
Assemblage K de l amarrage a la retombee de l arc et appui
Echelle 0,01
Coupe a'b'
Appui mobile sur pile
Fig 22
Fig 23
E. Pouchet sc.

AMARRAGES DE L'ARC ET DU TABLIER

Fig 1 à 7, 0 005 p m.

Fig. 1
1re PHASE

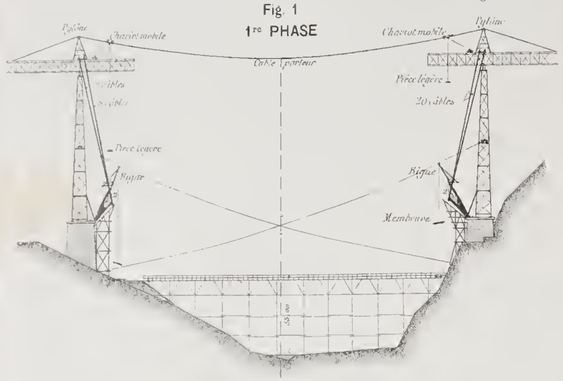


Fig. 2
2me PHASE

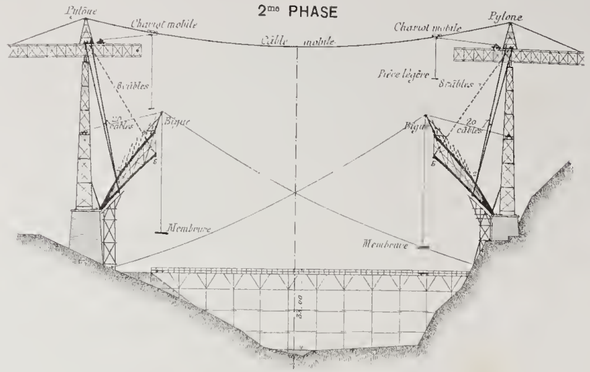


Fig. 3
3me PHASE

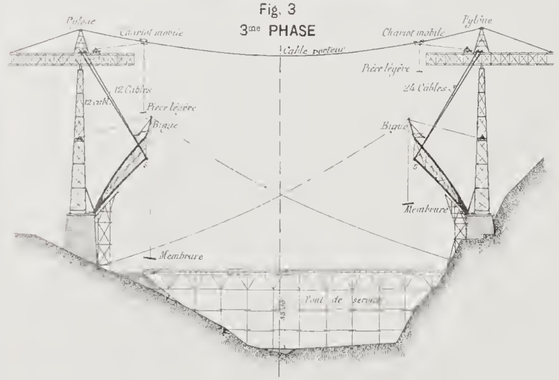


Fig. 4
4me PHASE

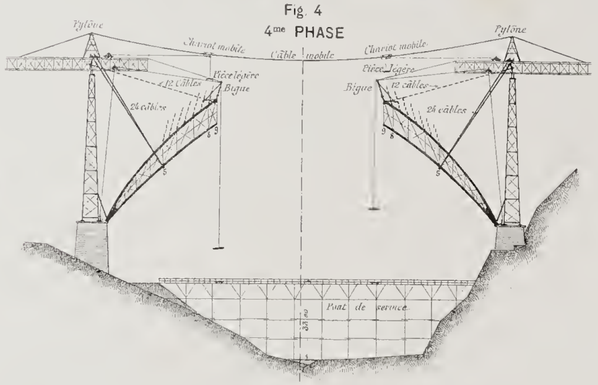


Fig. 5
5me PHASE

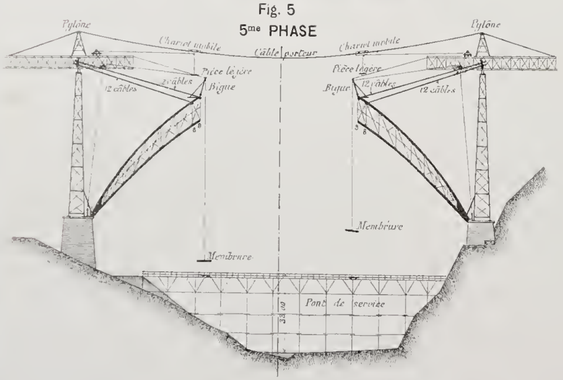


Fig. 6
6me PHASE

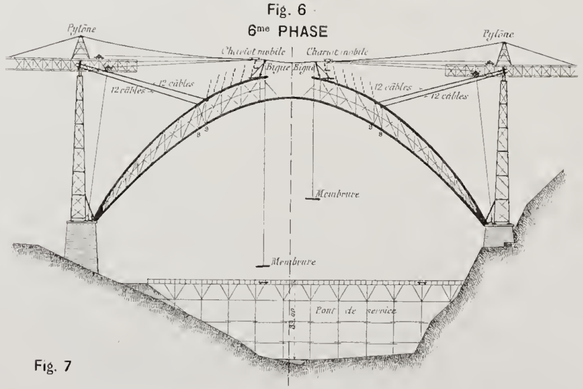


Fig. 7

ENSEMBLE DE LA DISPOSITION DES AMARRAGES PENDANT LE MONTAGE

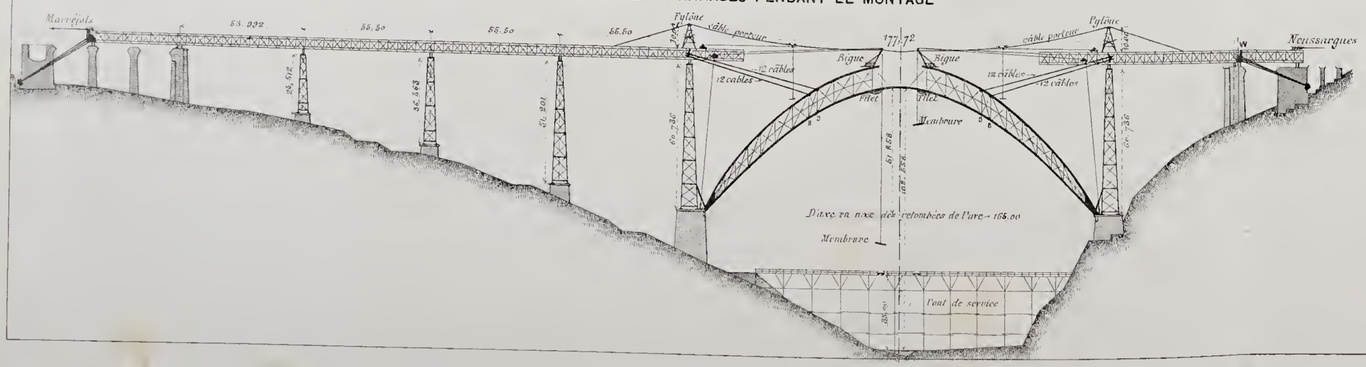
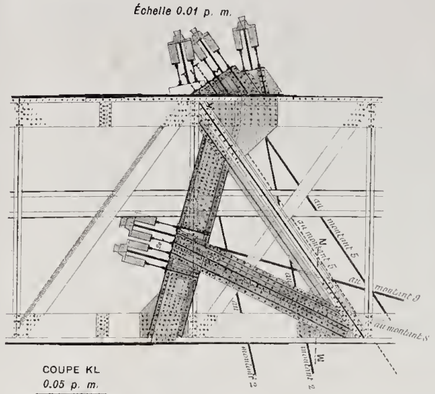


Fig. 8

MODIFICATIONS DU TABLIER POUR L'AMARRAGE DES CABLES SUPPORTANT DIVERS POINTS DE L'ARC

Échelle 0.01 p. m.



COUPE KL
0.05 p. m.

COUPE MN
0.05 p m.

Fig. 9

APPUIS DES TÊTES DE CABLES SUR LES SOMMIERS D'AMARRAGE

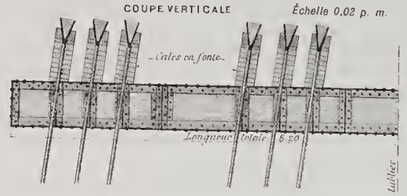
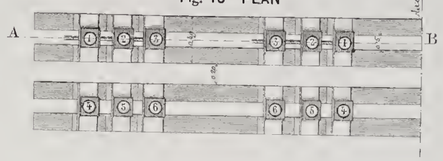


Fig. 10 PLAN



COUPE TRANVERSALE

Fig. 11

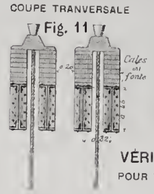
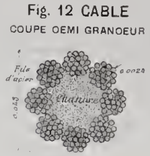


Fig. 12 CABLE
COUPE DEMI GRANDEUR



VÉRIN de 30000 Kos et SUPPORT
POUR TENDRE LES CABLES D'AMARRAGE

ÉLÉVATION — VUE LATÉRALE

Échelle 0.025

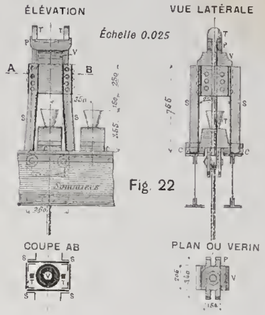


Fig. 22

COUPE AB — PLAN OU VERIN

Fig. 13
SOMMIERS D'AMARRAGE DE L'ARC
AU MONTANT N° 2
Échelle 0.02 p. m.

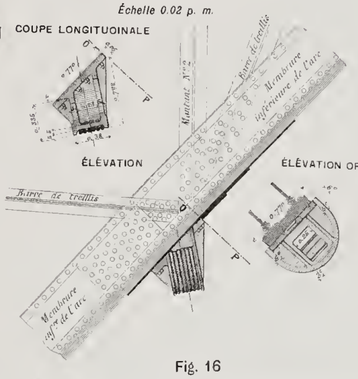


Fig. 14
SOMMIERS D'AMARRAGE DE L'ARC
AU MONTANT N° 5
Échelle 0.02 p. m.

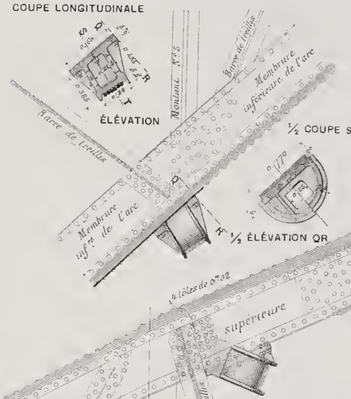


Fig. 15
SOMMIERS D'AMARRAGE DE L'ARC
AUX MONTANTS Nos 8 ET 9
Échelle 0.02 p. m.

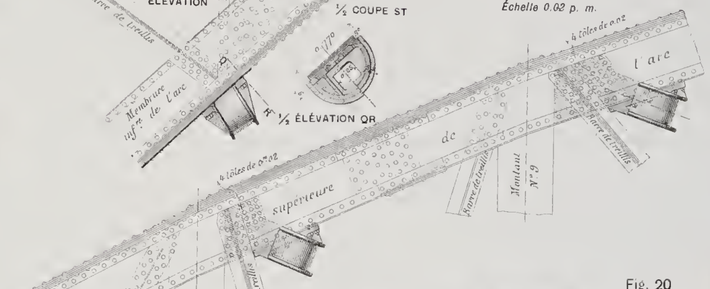


Fig. 16
AMARRAGE DU TABLIER - COTÉ MARVEJOLS
Echelle 0.01 p. m.

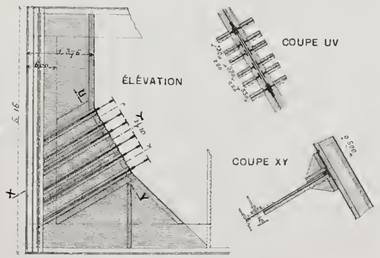


Fig. 17 AMARRAGE DU TABLIER - COTE NEUSSARGUES
Échelle 0.01 p. m.

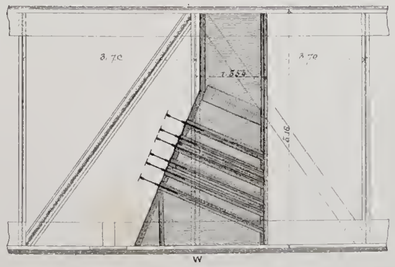


Fig. 18
ÉLÉVATION

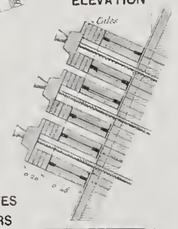
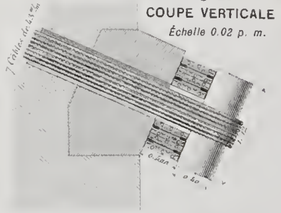


Fig. 20
COUPE VERTICALE
Échelle 0.02 p. m.



AMARRAGE DU TABLIER
Fig. 18 et 19 APPUIS DES TÊTES DE CABLES SUR LES SOMMIERS
Fig. 20 et 21 DISPOSITION DES SOMMIERS DANS LES CULÉES
Échelle 0.02 p. m.

Fig. 19
PLAN

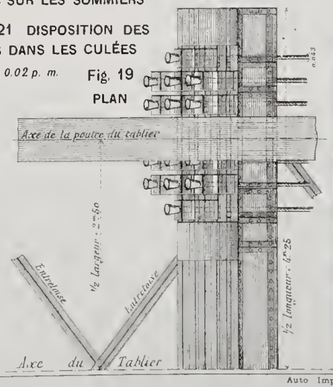
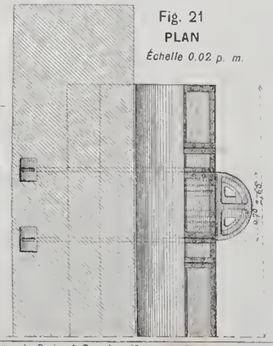
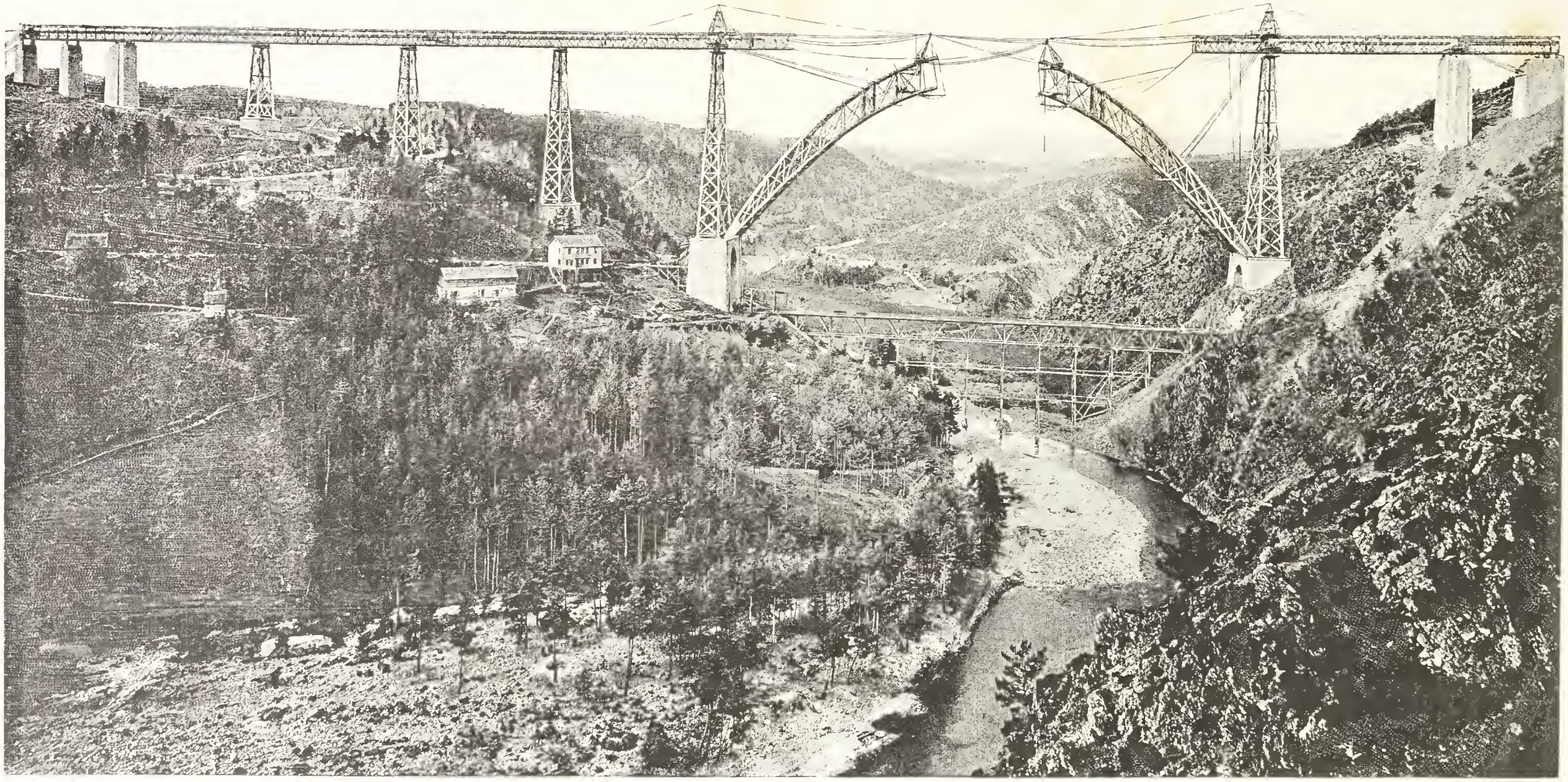
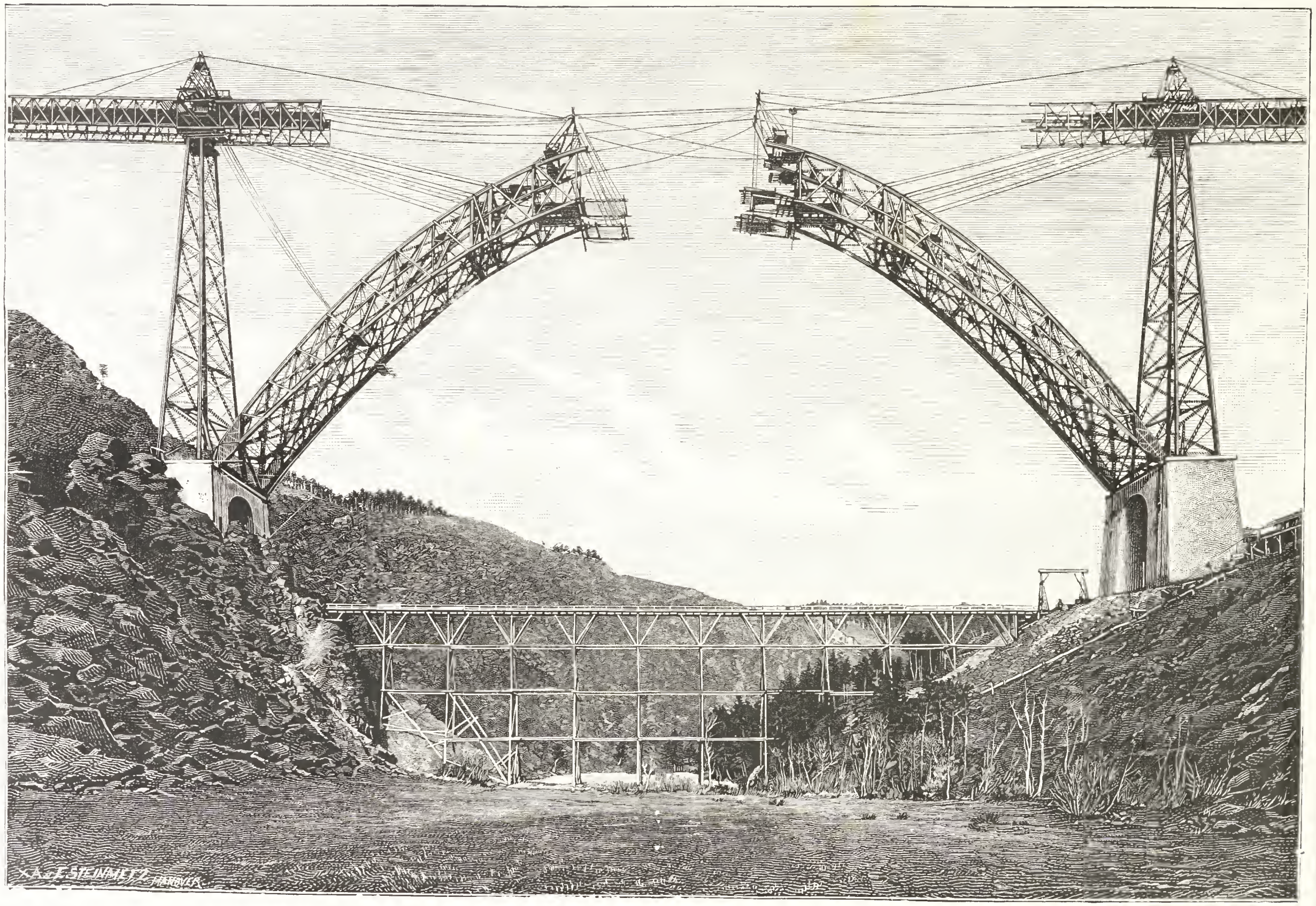


Fig. 21
PLAN
Échelle 0.02 p. m.



Auto Imp A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

LE VIADUC DE GARABIT.



LE VIADUC DE GARABIT.